مجلّهٔ جغرافیا و توسعهٔ ناحیه‌ای، شمارهٔ بیست و یکم، پاییز زمستان ۱۳۹۲

برآورد مکانی و پهنه‌بندی تبخیروتعرق مرجع در استان خوزستان

مژده جامعی (دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، نویسنده مسؤول)
mozhdeh.jamei@gmail.com
محمد موسوی بایگی(استاد هواشناسی دانشگاه فردوسی مشهد)
mousavi500@yahoo.com

چکیده

تعیین توزیع مکانی تبخیر و تعرق مرجع (ETo) در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب، مطالعات بیلان آبی و برآورد نیاز آبی گیاهان از اهمیت زیادی برخوردارست. بنابراین هدف پژوهش حاضر تعیین مناسب‌ترین روش درون‌یابی برای برآورد مکانی ETo و پهنه‌بندی این متغیر در استان خوزستان است. بدین منظور از داده‌های هواشناسی ۴۲ ایستگاه در یک دوره آماری ۲۸ ساله استفاده شد و برای تخمین مقادیر ETo در ایستگاه‌ها، روش فائو پنمن مانتیث بکار برده شد. به منظور برآورد مکانی ETo، هفت روش درون‌یابی مشتمل بر وزنی عکس فاصله، اسپلاین، گرادیان خطی سه بعدی، کریجینگ عمومی، کوکریجینگ، کریجینگ با روند خارجی و رگرسیون کریجینگ ارزیابی شدند. برای تحلیل واریوگرافی در روش‌های کریجینگ، پنج مدل نیم‌تغییرنمای کروی، نمایی، خطی، خطی دارای حد آستانه و گوسی بر داده‌های ETo برازش شده و براساس مجموع مربعات، خطای کمتر و ضریب تبیین بالاتر نیم‌تغییرنمای مناسب انتخاب شد. تعیین مناسب‌ترین روش درون‌یابی بر اساس محاسبه شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا، میانگین خطای اریب و میانگین انحراف مطلق روش‌های مختلف انجام شد. با بررسی شاخص‌های خطا معلوم شد روش کوکریجینگ با مدل‌نیم تغییرنمای گوسی دارای کمترین خطا بود و به عنوان بهترین روش برای مکانی‌کردن داده‌های ETo ماهانه و سالانه در خوزستان معرفی شد. در مدل‌نیم تغییرنمای‌گوسی کوکریجینگ، نسبت بخش ساختاردار به کل تغییرپذیری در بیشتر ماه‌ها ۱ بود که بیانگر ساختار مکانی قوی در تغییرات هم‌زمان متغیرهای ETo و ارتفاع است. اما دقت شود روش کوکریجینگ در بیشتر ماه‌ها دارای خاصیت کم برآوردی است.

کلیدواژه‌ها: تبخیروتعرق مرجع، درون‌یابی، کوکریجینگ، خوزستان.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۳/۷ تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۷/۲۱

۱- مقدمه

مهمترین عامل در تعیین نیاز آبی، برآورد دقیق ETo در هر منطقه است که توزیع مکانی آن در مدیریت منابع آب، مطالعات بیلان آبی و برآورد نیازآبی گیاهان اهمیت بسیاری دارد. روش‌های متعددی برای محاسبه ETo وجود دارد که در اکثر آن‌ها از اندازه‌گیری نقطه‌ای در ایستگاه‌ها برای برآورد ETo استفاده شده است که نتایج آنها فقط درمورد مناسب مناطق محلی کاربرد دارد. با توجه به اینکه بیشتر مطالعات در مقیاس منطقه‌ای وسیع صورت می‌گیرند، تعمیم این اطلاعات از حالت نقطه‌ای به منطقه‌ای ضرورت می‌یابد. با توسعه روش‌های مختلف درون‌یابی، امکان برآورد مکانی ETo منطقه‌ای در سطوح گسترده فراهم شده‌است. استان خوزستان با دارا بودن هزاران هکتار اراضی کشاورزی و جریان پنج رودخانه بزرگ، بیشترین سهم منابع آب سطحی کشور را داراست اما برخلاف گستردگی منابع آبی منطقه، همواره مشکلات تامین آب کشاورزی بویژه در زمان خشکسالی‌ها مطرح بوده است. براین اساس برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح منابع آب، تعیین نیاز آبی و برآورد دقیق ETo ضرورت می‌یابد. هدف پژوهش حاضر تعیین مناسب‌ترین روش درون‌یابی برای برآورد مکانی و پهنه‌بندی ETo در استان خوزستان می‌باشد. پژوهش حاضر به دنبال پاسخ به این پرسش است که «دقیق‌ترین روش درون‌یابی داده‌های ETo در خوزستان کدام روش است؟» تا براساس آن بتوان پهنه‌بندی مکانی این پارامتر را در مقیاس سالانه و ماهانه انجام داد.

۲- پیشینهٔ پژوهش

مطالعات متعددی درمورد درون‌یابی متغیر تبخیروتعرق توسط پژوهش‌گران ایرانی و غیرایرانی انجام شده‌است که در این تحقیق به برخی از آن‌ها اشاره شده‌است. در استان‌های فارس، بوشهر، هرمزگان و کهگیلویه بویراحمد، سه روش زمین‌آماری کریجینگ معمولی، کریجینگ باقیمانده و کوکریجینگ برای تخمین ETo ماهانه و سالانه ارزیابی شده‌اند. نتایج این بررسی‌ها نشان داده‌است روش کوکریجینگ به استثنای ماه‌های فروردین، اردیبهشت و شهریور، بهترین روش برای برآورد ETo در این مناطق بوده‌است (نوشادی و سپاس خواه، ۱۳۸۶: ۳۴۳). برای بررسی تغییرات منطقه‌ای تبخیروتعرق پتانسیل در استان همدان، روش کریجینگ در مقیاس ماهانه و روش وزن‌دهی‌عکس

فاصله در مقیاس سالانه پیشنهاد شده‌است(نظری‌فر و همکاران، ۱۳۸۶). در استان تهران روش کریجینگ مناسب‌ترین شیوه برآورد منطقه‌ای ETo بوده‌است (شهابی‌فر، ۱۳۸۳). براساس پژوهشی که در اندلس اسپانیا انجام شد روش کریجینگ ساده، به عنوان بهترین روش پهنه‌بندی ETo تعیین شد (Vanderlinden & et al., 2008: 242). در کشور چین، روش کریجینگ معمولی برای درون-یابی ETo محاسبه‌شده به روش پنمن مانتیت برگزیده شده‌است (Gong & et al., 2005). در یونان، ببرای پیش‌بینی مکانی میانگین روزانه تبخیر و تعرق مرجع به‌دست‌آمده از معادله پنمن مانتیث، روش باقیمانده کریجینگ دقت بالاتری نشان‌داده‌است (Mardikis & et al., 2005: 251). در نواحی کوهستانی آراگون اسپانیا، روش کوکریجینگ برای برآورد تبخیر و تعرق منطقه‌ای دارای بهترین نتیجه بوده‌است (Martinez-Cob., 1996:19). نتایج پژوهش‌های اشاره شده نشان دادند روش‌های درون-یابی نتایج متفاوتی در مناطق مختلف دارند، براین اساس هدف پژوهش حاضر بررسی روش‌های مختلف درون‌یابی برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع منطقه‌ای در استان خوزستان است. روش‌های متعددی برای تخمین ETo وجود دارد و مطالعات متعددی درمورد مقایسه روش‌های مختلف برآورد این متغیر در داخل و خارج از ایران انجام شده‌است. اما از بین روش‌های موجود، سازمان خواربار جهانی[1] در نشریه شماره ۵۶، روش ترکیبی فائو پنمن مانتیث را به‌عنوان تنها روش استاندارد برای محاسبه نیازآبی گیاه مرجع در تمام نقاط جهان معرفی نموده است (علیزاده و کمالی، ۱۳۸۷: ۱۹). طبق آیین‌نامه مصرف بهینه آب در کشاورزی، برای برآورد ETo و نیازآبی کل کشور نیز از روش فائو پنمن مانتیث استفاده شده‌است(وزارت کشاورزی، ۱۳۷۸: ۱۹). مقایسه داده‌های ETo برداشت‌شده از لایسیمتر ایستگاه هواشناسی دانشکده کشاورزی مشهد با داده‌های برآوردشده به روش‌های فائوپنمن-مانتیث و تشت تبخیر، نشان داد نزدیکترین جواب به داده‌های لایسیمتری از روش فائوپنمن‌مانتیث به‌دست‌آمده‌است(موسوی بایگی و همکاران، ۱۳۸۸: ۹۷). با بررسی روش‌های مختلف، مناسب‌ترین روش برای تخمین ETo در استان خوزستان، روش فائو پنمن‌مانتیث است(کشلولی و همکاران، ۱۳۸۵). بنابراین برمبنای مطالعات اشاره‌شده و پژوهش‌های دیگر، روش فائو پنمن مانتیث برای

---

1. FAO

برآورد نقطه‌ای ETo در ایستگاه‌های مطالعاتی انتخاب شده‌است و سپس روش‌های درون‌یابی ارزیابی خواهند شد.

۳-روش تحقیق

در این پژوهش برای تعیین بهترین روش برآورد مکانی تبخیروتعرق مرجع، هفت روش درون‌یابی ازجمله وزن‌دهی‌عکس فاصله[1]، اسپلاین، گرادیان خطی سه‌بعدی، کریجینگ عمومی، کوکریجینگ، کریجینگ با روند خارجی[2] و رگرسیون-کریجینگ با یکدیگر مقایسه شدند. درادامه توصیف مختصری از این روش‌ها ارایه شده‌است. همچنین در این تحقیق از نرم‌افزارهای +GS و Minitab و Arc GIS 9.3 استفاده شد.

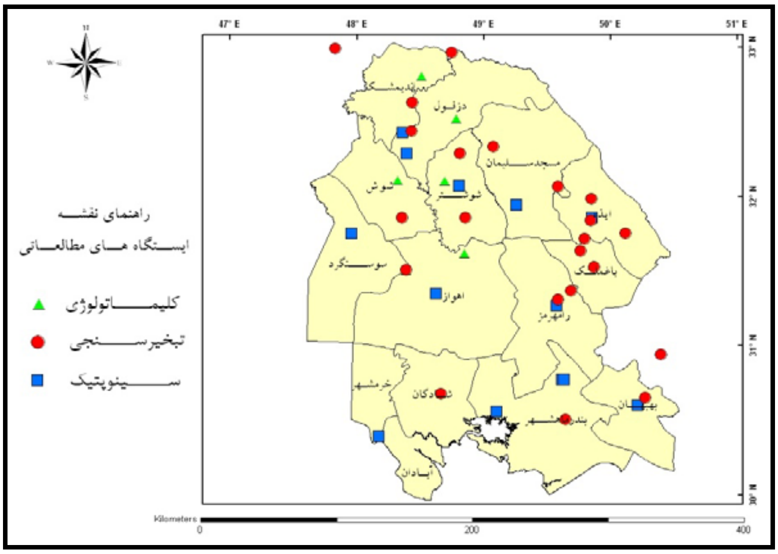
در این مطالعه از داده‌های ۴۲ ایستگاه هواشناسی در داخل و خارج استان خوزستان (۱۳سینوپتیک، ۷ کلیماتولوژی و۲۲ تبخیرسنجی) در یک دوره آماری ۲۸ ساله(سال‌های ۲۰۰۹- ۱۹۸۲ میلادی) برای تخمین ETo در محل ایستگاه‌ها استفاده شد که پراکندگی استگاه‌های مطالعاتی در شکل(۱) آمده-است. برای محاسبه مقادیر ETo در ایستگاه‌ها به روش فائوپنمن مانتیث، نرم‌افزار کراپ وات[3] به‌کار رفت. ورودی این نرم‌افزار پارامترهای اقلیمی متوسط‌حداقل دما، متوسط حداکثر دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش است. با توجه به اینکه در برخی ایستگاه‌های مطالعاتی، خلاء آماری وجود داشت، بنابراین پیش از تخمین تبخیروتعرق، داده‌های کمبود با استفاده از آمار ایستگاه‌های دارای شرایط یکسان و با داده کامل تکمیل و بازسازی شدند.

۳-۱- منطقه موردمطالعه

محدوده مطالعاتی پژوهش استان خوزستان بود که با مساحت ۶۴۷۴۶ کیلومترمربع، بین ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض

1.Inverse Distance Weighted (IDW)
2. Kriging With External Drift
3 . Cropwat

شمالی واقع شده است. این منطقه دارای اقلیم خشک و نیمه خشک بوده و از لحاظ توپوگرافی به دو بخش کوهستانی و جلگه‌ای تقسیم می‌شود. (شکل ۱)



شکل ۱: پراکندگی ایستگاه‌های مطالعاتی در محدوده استان خوزستان

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

۴- مبانی نظری

۴-۱-کریجینگ

کریجینگ نوعی روش تخمینی، مبتنی‌بر میانگین متحرک وزن‌دار است. برای تخمین مقادیر در نقاط نمونه‌برداری‌نشده، وزن‌هایی به مقادیر نمونه‌برداری‌شده اطراف نسبت داده‌می‌شود(حسنی‌پاک، ۱۳۷۷ :۱۸۱). کریجینگ یک تابع خطی است که از مجموعه مشاهدات توزیع‌شده در همسایگی نقطه‌ای به‌دست می‌آید که می‌خواهیم تخمین بزنیم و تابع آن به‌صورت زیر است.

(۱)

$$Z^* = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i . Z(x_i)$$

در این فرمول : Z^* : مقدار متغیر مکانی برآورد شده

$Z(x_i)$: مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه i ام، λ_i : وزنی که

به نمونه x_i نسبت داده شده و بیانگر اهمیت نقطه i ام در برآورد است. N : تعداد متغیرهای مکانی مشاهده‌شده‌است.

تخمین‌گر کریجینگ دارای دو مرحله است. در مرحله اول شناخت و مدل‌سازی ساختار فضایی متغیرست که می‌توان به‌وسیله آنالیز نیم تغییرنما آن را بررسی نمود. مرحله دوم تخمین متغیر موردنظر را شامل می‌شود که به مرحله اول وابسته است. شرط استفاده از روش‌های کریجینگ، ایستا بودن متغیر می‌باشد که از طریق نیم تغییر نما قابل‌تشخیص است. همچنین توزیع داده‌ها باید به توزیع نرمال نزدیک باشد.

۴-۲- کوکریجینگ

درصورتی‌که به‌اندازه‌کافی از متغیر اصلی نمونه‌برداری نشده‌باشد و نتوان برآورد آماری را بادقت موردنظر انجام‌داد از روش کوکریجینگ استفاده می‌شود(Majani, 2007 :33). دراین‌موارد می‌توان با در نظر گرفتن همبستگی مکانی بین متغیراصلی و یک متغیر کمکی که از آن به اندازه کافی نمونه‌برداری شده‌است، تخمین را اصلاح کرد و دقت آن را بالا برد. این روش درمواقعی به‌کار می‌رود که ضریب همبستگی بین متغیر اصلی و کمکی، قوی و معنی‌دارست و بالاتر از ۰/۵ می‌باشد.

۴-۳- رگرسیون-کریجینگ

این روش زمانی به‌کار می‌رود که در منطقه داده‌ها روندی وجود داشته باشد و در مرحله اول یک یا چند متغیر کمکی مستقل به‌وفور در منطقه موجود باشد، سپس بین متغیر وابسته و متغیرهای کمکی، همبستگی بالایی وجود داشته‌باشد. در این روش ابتدا با استفاده از یک رابطه رگرسیون خطی چندگانه بین متغیراصلی و متغیرهای کمکی، طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌ها، روند موجود در داده‌ها محاسبه می‌شود سپس با کم‌کردن این میزان، از مقادیر متغیر اصلی، جزء باقیمانده در هر ایستگاه به‌دست می‌آید. سپس باقیمانده ها را با روش کریجینگ عمومی درون‌یابی می‌کنیم و لایه درون‌یابی شده خطاها را به لایه مقادیر برآورد شده

از رابطه رگرسیونی می افزاییم تا لایه مقادیر نهایی درون‌یابی به‌دست آید که معادله نهایی آن به صورت زیر است(Boer & et al., 2001:150).

$$\hat{f}(s_0) = \hat{\alpha} + \hat{\beta}_1 x + \hat{\beta}_2 y + \hat{\beta}_3 h + \sum_{i=1}^{n} w_i z^*(s_i) \qquad (۲)$$

در معادله فوق $\hat{\alpha}$، $\hat{\beta}_1$، $\hat{\beta}_2$، $\hat{\beta}_3$ ضرایب معادله رگرسیونی و x ، y و h طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع نقطه s_0 می‌باشد و w_i وزن مربوط به خطای ایستگاه s_i است. همچنین $\hat{f}(s_0)$ مقدار متغیر درون‌یابی‌شده نقطه s_0 و $z^*(s_i)$ مقدار باقیمانده در ایستگاه s_i است.

۴-۴- کریجینگ با روند خارجی

هنگامی که داده‌های واقعی محدودی از متغیر اصلی در منطقه موجود باشد، این روش با استفاده از رابطه خطی بین متغیراصلی وکمکی متغیر اصلی را پیش‌بینی می‌کند. متغیرهای‌کمکی علاوه‌براینکه باید در محل داده‌های متغیر اصلی موجود باشند، می‌بایست در تمامی گره‌های شبکه پیش‌بینی نیز تعریف شده‌باشند. همچنین باید از داده‌هایی به عنوان متغیرکمکی استفاده نمود که همبستگی خطی بالایی با متغیر موردنظر دارند(Hengel & et al., 2003:3).

۴-۵- روش وزن دهی عکس فاصله

در معادله این روش، وزن به صورت عکس فاصله به توان (P) بیان می‌گردد که در این روش هرچه P بزرگتر باشد بدین‌معناست که برآورد ایستگاه‌های نزدیک اهمیت بیشتری دارند. توانی که دارای کمترین خطا(ریشه میانگین مربع خطا) باشد، به عنوان توان بهینه انتخاب می‌شود(Ha & et al., 2011: 2797). پارامتر دیگری که در این روش تاثیرگذارست، تعداد نقاط همسایگی در برآورد مقدار نقاط مجهول است که در این مطالعه تعداد نقاط همسایگی (ایستگاه‌های مطالعاتی) ۳،۶،۹،۱۲،۱۵،۱۸،۲۱،۲۴،۲۷،۳۰ بررسی خواهند شد.

۴-۶- روش اسپلاین

اسپلاین‌ها توابعی غیرپارامتری‌اند که قابلیت ارتجاعی بالایی دارند اسپلاین‌ها توابعی غیرپارامتری‌اند که قابلیت ارتجاعی بالایی دارند. منظو از غیرپارامتری بودن این‌است که

نمی‌توان به اطلاعات مربوط به پارامترهای توزیع جامعه متکی بود. اسپلاین‌ها را می‌توان یک تابع چندجمله‌ای‌تکه‌ای نامید. یعنی توابع پیچیده شامل قطعاتی از چندجمله‌ای‌ها با درجات مختلف و بین هر دو نقطه از فضا هستند که درمحل اتصالات نرم شده‌اند(مهدی‌زاده، ۱۳۸۱: ۲۲).

۴-۷- روش گرادیان خطی سه بعدی

در روش گرادیان‌های خطی فرض برین است که در منطقه موردبررسی نوعی روند در جهت‌های متفاوت وجود دارد که این روند یک چندجمله ای از درجه n فرض می‌شود. در روش گرادیان خطی سه‌بعدی فرض برین‌است که در راستای طول و عرض و ارتفاع منطقه روند خطی وجود دارد که با برازش یک رابطه رگرسیون خطی چندگانه بین متغیر اصلی اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه هواشناسی و متغیرهای مستقل، می‌توان در نقاطی که متغیر اصلی اندازه‌گیری نشده‌است مقدار آن را تخمین زد (Majani, 2007:33) .

۴-۸- آزمون نرمال بودن و نرمال سازی داده‌ها

پیش از کاربرد روش‌های خانواده کریجینگ و روش‌های گرادیانی، باید تبعیت توزیع داده‌ها از توزیع نرمال مشخص‌شود. بنابراین پیش از اجرای این روش‌ها، نرمال‌بودن داده‌های تبخیروتعرق مرجع در سطح اطمینان ۹۵٪ بااستفاده‌از آماره اندرسون‌دارلینگ به کمک نرم‌افزارMinitab انجام شد.

۴-۹- متغیرها و شاخص‌های تحقیق

به منظور ارزیابی دقت روش‌های درون‌یابی به‌کار گرفته‌شده برای تبخیروتعرق مرجع از روش اعتبارسنجی‌حذفی استفاده‌شد. برای انتخاب بهترین روش درون‌یابی، شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا[1]، میانگین خطای اریب[2] و میانگین انحراف مطلق[3] به کارگرفته شد که روابط آن‌ها در زیر آمده‌است:

1.Root Mean Square Error (RMSE)
2. Mean Bias Error (MBE)
3. Mean Absolute Error(MAE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}\left[Z(x_i) - \widehat{Z}(x_i)\right]^2}{N}} \qquad (۳)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left[Z(x_i) - \widehat{Z}(x_i)\right]}{N} \qquad (۴)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left|Z(x_i) - \widehat{Z}(x_i)\right|}{N} \qquad (۵)$$

$Z(x_i)$: مقدار مشاهده‌شده متغییر i اُم، $\widehat{Z}(x_i)$: مقدار برآوردشده متغییر i اُم و N :تعداد داده‌ها

۵- یافته‌های تحقیق

در این بخش نتایج درون‌یابی تبخیروتعرق مرجع به روش‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه ارایه‌شد و در نهایت بهترین روش درون‌یابی این پارامتر، بر اساس معیارهای ارزیابی خطا مشخص‌شده‌است.

۵-۱- نتایج نرمال سازی داده‌ها

نتایج اجرای آزمون اندرسون–دارلینگ در ماه‌های مختلف نشان‌داد که داده‌های ETo در بیشتر موارد با سطح اطمینان ۹۵٪ از توزیع نرمال پیروی می‌نمایند جدول (۱). فقط ماه‌های مارس، آوریل، می، ژوئن و دسامبر از توزیع نرمال تبعیت نکردند که با تبدیل مناسب به توزیع نرمال تبدیل شدند.

جدول۱: نتایج تبدیل تابع توزیع احتمال داده‌های تبخیروتعرق مرجع به توزیع‌نرمال

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالانه
P-Value قبل از تبدیل	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۲۶	۰/۸۲	۰/۴۹	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۸
تابع تبدیل	–	–	Log(x)	Log(x)	Log(x)	Log(log(x))	–	–	–	–	–	Log(x)	–
P-Value پس از تبدیل	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۲۳	۰/۰۱۷	۰/۰۱۹	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۲۶	۰/۸۲	۰/۴۹	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۸

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

۵-۲- نتایج روش کریجینگ عمومی

پیش از کاربرد روش‌های خانواده کریجینگ باید ساختار مکانی داده‌ها بررسی شوند. بدین منظور ۵ مدل نیم تغییرنما ازجمله مدل‌های کروی، نمایی، خطی، خطی که حد آستانه و گوسی داشتند بر داده ها برازش شده و از بین آن‌ها براساس مقدار مجموع مربعات خطای (RSS)[1]، نیم‌تغییرنمای بهینه پایین‌تر انتخاب‌شد و ضریب تبیین(r^2) بالاتر گزینش‌شد. مشخصات مدل‌های نیم‌تغییرنمای بهینه ماه‌های مختلف در جدول (۲) آمده‌است. بررسی نسبت بخش ساختاردار به کل تغییرپذیری نشان داد تقریباً در همه موارد نقش مؤلفه ساختاردار بسیار بیشتر از مؤلفه بی‌ساختارست (بیش از ٪۹۵). بنابراین، این سنجه دلالت بر ایده‌آل‌بودن ساختار مکانی داده‌هایETo ماهانه در محدوده موردبررسی دارد. همچنین معلوم‌شد مدل تئوری کروی درتمامی‌موارد به‌عنوان مدل تئوری بهینه نیم‌تغییرنما درنظرگرفته‌می‌شود. دامنه تأثیر داده‌ها نیز بین ۲۶ تا ۸۵/۶ کیلومتر است. در شکل (۲) نمونه‌ای از نیم تغییرنمای تجربی و مدل تئوری کروی برازش داده‌شده برآن مشاهده می‌شود که مربوط به داده‌های تبخیروتعرق ماه ژانویه است. پس از بررسی نیم‌تغییرنماهای تجربی و انتخاب مدل تئوری کروی به‌عنوان بهترین مدل نیم تغییرنما، درون‌یابی داده‌های EToدر ایستگاه مطالعاتی به روش کریجینگ عمومی و با مدل نیم‌تغییرنمای کروی و نرم‌افزارGS+ انجام شد. هم‌زمان با عملیات درون‌یابی در هرماه، این روش نیز با تکنیک اعتبارسنجی حذفی ارزیابی‌شد و شاخص‌های خطا محاسبه‌گردید.

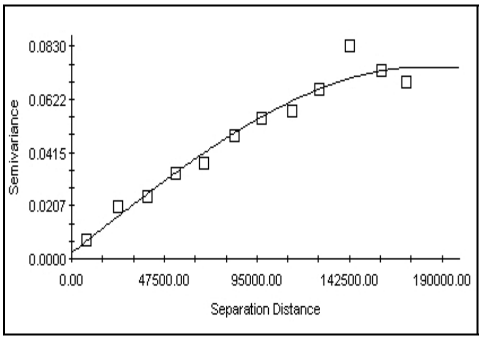
جدول۲: مشخصات نیم تغییرنمای داده های تبخیروتعرق مرجع

ماه	مدل	مجموع‌مربعات خطا(RSS)	ضریب تبیین(r^2)	C/ (C+C0)	دامنه تاثیر (Km)	سقف (C+C0)	اثر قطعه‌ای (C0)
ژانویه	کروی	$۲/۸*۱۰^{-۵}$	۰/۹۶	۰/۹۹	۵۷/۸	۰/۰۲۸	۰/۰۰۰۲
فوریه	کروی	$۱/۱۴*۱۰^{-۳}$	۰/۹۷	۰/۹۹	۸۵/۶	۰/۱۹۴	۰/۰۰۰۱
مارس	کروی	۰/۰۴۳	۰/۸۶	۰/۹۹	۵۹/۳	۰/۳۷	۰/۰۰۱
آوریل	کروی	۰/۲۲۲	۰/۸۴	۰/۹۹	۴۹/۸	۰/۹۰۵	۰/۰۰۱
می	کروی	$۱/۱۹*۱۰^{-۴}$	۰/۸۴	۰/۸۶	۳۵/۹	۰/۰۲۳	۰/۰۰۳
ژوئن	کروی	$۷/۴*۱۰^{-۵}$	۰/۹	۱	۵۴/۲	۰/۰۲۳	۰
ژوئیه	کروی	$۱/۱۷*۱۰^{-۴}$	۰/۸۴	۱	۳۱/۲	۰/۰۲۲	۰

1 . Residual Sums of Squares

اوت	کروی	۷/۵۵*۱۰$^{-۵}$	۰/۹	۱	۲۶	۰/۰۲۵	۰
سپتامبر	کروی	۵/۹*۱۰$^{-۶}$	۰/۹۸	۱	۳۱/۴	۰/۰۲۴	۰
اُکتبر	کروی	۸/۳*۱۰$^{-۵}$	۰/۸۸	۱	۵۳/۶	۰/۰۲۸	۰
نوامبر	کروی	۲/۳*۱۰$^{-۴}$	۰/۹۱	۰/۹۹	۴۴/۹	۰/۰۴۹	۰/۰۰۰۲
دسامبر	کروی	۱/۰۴*۱۰$^{-۴}$	۰/۹۳	۰/۹۴	۸۴/۴	۰/۰۴۲	۰/۰۰۲
سالانه	کروی	۱/۵*۱۰^{۹}	۰/۸۴	۰/۹۹	۴۵/۷	۸۰۵۰۰	۱۰۰

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل۲: نیم‌تغییرنمای تجربی و مدل تئوری کروی داده های تبخیروتعرق ماه ژانویه

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

۵-۳- نتایج روش کوکریجینگ

در این مطالعه تبخیروتعرق مرجع به عنوان متغیر اصلی و ارتفاع متغیر کمکی در نظر گرفته شد. با به کاربستن آزمون معنی‌داری ضریب همبستگی بر این دو متغیر، معلوم شد در تمامی ماه‌ها همبستگی این دو متغییر در سطح ۹۵٪ معنی‌دارست. با بررسی نرمال‌بودن داده‌های ارتفاع به‌عنوان داده‌های متغیر کمکی با استفاده از آزمون اندرسوندارلینگ در سطح اطمینان ۹۵٪ معلوم شد این داده‌ها درحد مطلوبی از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند. باتوجه به اینکه داده‌های متغیر کمکی نیز باید از ساختار مکانی مطلوبی برخوردار باشند، بنابراین پنج نوع مدل نیم‌تغییرنما بر داده‌های ارتفاع برازش شدند. آنالیز ساختاری داده‌های ارتفاع نشان داد آن‌ها دارای دامنه تأثیر ۴۷/۷ کیلومتر هستند و نسبت بخش ساختاردار به کل تغییرپذیری۱ است که نشان می‌دهد اثر قطعه‌ای و در نتیجه ساختار مکانی قوی داده‌های ارتفاع وجود ندارد. در روش کوکریجینگ تغییرات هم‌زمان دو متغیر اصلی و کمکی(نیم‌تغییرنمای متقاطع) نیز باید ساختار داشته‌باشد. بنابراین پارامترهای نیم‌تغییرنمای متقاطع تجربی و تئوری داده‌های تبخیروتعرق مرجع-ارتفاع در ماه‌های مختلف

برآورد شد و نتایج نشان داد مدل تئوری نیم‌تغییرنما درتمـامی‌مـوارد مـدل گوسـی اسـت. همچنـین نسـبت [C/(C+C0)] در همه ماه‌ها ۹۹٪ و ۱ بود که نشان داد ساختار مکانی قوی در تغییرات هـم‌زمـان متغیرهـای اصلی و کمکی است(جدول۳). پس از تعیین مدل‌تئوری نیم‌تغییرنمای گوسی به عنوان مدل بهینه، درون‌یـابی داده‌های ETo با متغییر کمکی ارتفاع در ایستگاه‌های مطالعاتی به روش کوکریجینگ انجام شد.

جدول۳ : مشخصات نیم تغییرنمای متقاطع متغیر اصلی و کمکی

ماه	مدل	مجموع‌مربعات خطا(RSS)	ضریب تبیین(r2)	C/(C+C0)	دامنه تاثیر (Km)	سقف (C+C0)	اثر قطعه‌ای (C0)
ژانویه	گوسی	۹/۶*۱۰$^{-۳}$	۰/۹	۱	۴۴/۸	-۰/۲۲۶	-۰/۰۰۰۱
فوریه	گوسی	۹/۰۸*۱۰$^{-۳}$	۰/۹۲	۱	۴۴/۱	-۰/۲۵۳	-۰/۰۰۰۱
مارس	گوسی	۰/۰۵۱	۰/۹۶	۰/۹۹	۶۰/۵	-۰/۹۸۶	-۰/۰۰۱
آوریل	گوسی	۸/۰۵*۱۰$^{-۳}$	۰/۹۳	۰/۹۹	۹۴/۳	-۰/۳۶۷	-۰/۰۰۱
می	گوسی	۰/۳۳۴	۰/۹۳	۱	۷۹/۹	-۲/۰۱۱	-۰/۰۰۱
ژوئن	گوسی	۰/۰۱۵	۰/۹۳	۰/۹۹	۸۵/۱	-۰/۴۳۲	-۰/۰۰۱
ژوئیه	گوسی	۰/۰۱۱	۰/۹۱	۱	۷۶/۵	-۰/۳۱۶	-۰/۰۰۰۱
اوت	گوسی	۰/۰۱۳	۰/۸۸	۰/۹۹	۴۰/۵	-۰/۴۹۶	۰/۰۰۱
سپتامبر	گوسی	۴/۹۵*۱۰$^{-۳}$	۰/۹۷	۰/۹۹	۸۵/۸	-۰/۳۸۵	۰/۰۰۱
اُکتبر	گوسی	۵/۱۲*۱۰$^{-۳}$	۰/۹۶	۱	۴/۰۸	-۲/۰۰۷	۰/۰۰۱
نوامبر	گوسی	۰/۰۱۱	۰/۹۴	۱	۵۱/۹	-۰/۳۱۱	۰/۰۰۰۱
دسامبر	گوسی	۸/۹۲*۱۰$^{-۳}$	۰/۹۴	۱	۶۴/۲	-۰/۲۹۷	۰/۰۰۰۱
سالانه	گوسی	۵/۸۴*۱۰$^{-۳}$	۰/۹۴	۱	۶۱/۹	-۰/۲۴۵	۰/۰۰۰۱

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

۵-۴- نتایج روش رگرسیون-کریجینگ

متغیرهای کمکی این روش، طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌ها بودند و رابطه بین متغیرهای کمکی و اصلی به صورت یک رابطه رگرسیون خطی چندگانه تعریف شد و معادله آن با نرم‌افزار Minitab در هرماه به طور جداگانه استخراج گردید و مقادیر باقیمانده در هر ایستگاه محاسبه‌شد و در نهایت لایه باقیمانده ایستگاه‌ها با روش کریجینگ در نرم افزار +GS درون‌یابی شد. سپس مقادیر درون-

یابی شده در هر ایستگاه به مقادیر محاسبه‌شده توسط معادله رگرسیونی اضافه گردید و با مقادیر اصلی مقایسه شدند. برای ارزیابی این روش تکنیک اعتبارسنجی حذفی به‌کاررفت.

۵-۵- نتایج روش کریجینگ با روند خارجی

در این روش براساس رابطه‌خطی بین متغیر کمکی(ارتفاع) و اصلی (ETo) متغیر اصلی پیش‌بینی شد و متغیر کمکی باید در تمامی گره‌های شبکه پیش بینی موجود باشد. بدین‌منظور مختصات گره‌های شبکه از نرم‌افزارGS+ استخراج شد و به صورت یک لایه نقطه‌ای وارد نرم‌افزار ArcGIS گشت. سپس با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی(DEM) مقادیر ارتفاع متناظر با گره‌های شبکه استخراج‌شد. درنهایت مختصات گره‌های شبکه به همراه مقادیر ارتفاع آن‌ها، به عنوان متغیرکمکی برای محاسبه روش کریجینگ با روند خارجی وارد نرم‌افزار GS+ شدند.

۵-۶- نتایج روش وزنی عکس فاصله

در این روش توان‌های ۱تا ۵ با تکنیک اعتبارسنجی حذفی و معیار ارزیابی خطای ریشه میانگین مربعات خطا بررسی شدند و توان ۳ که در بیشتر ماه‌ها دارای کمترین مقدار خطا بود به‌عنوان توان بهینه انتخاب‌شد. برای تعیین مناسب‌ترین تعداد نقاط همسایگی در برآورد منطقه‌ای ETo، درون‌یابی داده‌ها برپایه تعداد ایستگاه‌های مطالعاتی۶،۳،۹،۲۷،۲۴،۲۱،۱۸،۱۲ و ۳۰ و توان بهینه۳ انجام شد. نتایج نشان داد که در بیشتر ماه‌ها، تعداد ۶ نقطه همسایگی کمترین خطا را داشتند.

۵-۷- نتایج روش اسپلاین

برای درون‌یابی داده‌های تبخیرو تعرق مرجع به شیوه اسپلاین، از روش TPS به وسیله Geostatistical Analyst Toolbox از نرم افزار ArcGIS 9.3 استفاده‌شد.

۵-۸- نتایج روش گرادیان خطی سه‌بعدی

در روش گرادیان خطی سه‌بعدی از طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع هر ایستگاه به عنوان متغیرهای مستقل برای برآورد مقادیر تبخیروتعرق مرجع (متغیر وابسته) استفاده شد و بین متغیرهای مستقل و تبخیروتعرق‌مرجع یک رابطه رگرسیون خطی چندگانه برقرار شد. صورت کلی معادلات استفاده شده به شرح زیر است:

$$ETo_i = a_0+a_1*X_i + a_2*Y_i+a_3*Z_i \quad (۷)$$

ETo_i: مقدار مقادیر تبخیروتعرق مرجع برآوردشده در نقطه i

X_i: طول جغرافیایی نقطه i، Y_i: عرض جغرافیایی نقطه i

Z_i: ارتفاع نقطه i، a_0, a_1, a_2, a_3: پارامترهای معادله

با بررسی معادلات در ماه‌های مختلف مشخص شد در تمامی ماه‌ها ضرایب متغیرهای مستقل طول جغرافیایی(X_i)، عرض جغرافیایی(Y_i) و ارتفاع (Z_i) منفی است. این نتایج نشان دهنده آن است که تبخیروتعرق مرجع از غرب به شرق و از جنوب به شمال منطقه کاهش می‌یابد و این کاهش از جنوب به شمال می‌تواند ناشی از تأثیر عرض جغرافیایی بر میزان تابش دریافتی در سطح زمین باشد. همچنین با افزایش ارتفاع ایستگاه‌ها مقدار آن کاهش می‌یابد که دلیل آن کاهش دما با افزایش ارتفاع و در نتیجه کاهش تبخیر از سطح زمین است. اما در این میان اثر کاهشی ارتفاع و عرض جغرافیایی بر تبخیر و تعرق مرجع در تمامی موارد بیشترست (به دلیل بزرگ‌تر بودن ضریب ارتفاع نسبت به ضرایب طول و عرض جغرافیایی در معادلات رگرسیونی). در جدول(۴) معادلات رگرسیون خطی سه‌بعدی ماه‌های مختلف ارایه شده‌است.

جدول۴ : معادلات گرادیان خطی سه بعدی مربوط به ماه‌های مختلف[1]

ماه	معادله گرادیان خطی سه بعدی
ژانویه	ETo = 11/3 - 0/000186 Z - 0/000001 X - 0/000003 Y
فوریه	ETo = 18/4 - 0/000382 Z - 0/000002 X - 0/000004 Y
مارس	ETo = 22/0 - 0/000716 Z - 0/000002 X - 0/000005 Y
آوریل	ETo = 28/3 - 0/00134 Z - 0/000003 X - 0/000006 Y
می	ETo = 36/7 - 0/00159 Z - 0/000002 X - 0/000008 Y
ژوئن	ETo = 63/5 - 0/000648 Z - 0/000008 X - 0/000015 Y
ژوئیه	ETo = 65/4 - 0/000040 Z - 0/000010 X - 0/000015 Y
اوت	ETo = 60/0 - 0/000045 Z - 0/000008 X - 0/000014 Y
سپتامبر	ETo = 44/7 - 0/000195 Z - 0/000006 X - 0/000010 Y
اُکتبر	ETo = 24/6 - 0/000762 Z - 0/000001 X - 0/000006 Y
نوامبر	ETo = 19/9 - 0/000562 Z - 0/000002 X - 0/000005 Y
دسامبر	ETo = 12/4 - 0/000235 Z - 0/000001 X - 0/000003 Y
سالانه	ETo = 12374 - 0/204 Z - 0/00141 X - 0/00287 Y

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

۱. (X : طول جغرافیایی (متر) ، Y : عرض جغرافیایی (متر) ، Z : ارتفاع (متر))

۵-۹- انتخاب بهترین روش درون‌یابی برای منطقه‌ای نمودن تبخیروتعرق مرجع

برای انتخاب بهترین روش درون‌یابی داده‌های ETo ماهانه و سالانه در منطقه مطالعاتی هفت روش درون‌یابی ارزیابی شدند. تعیین بهترین روش مکانی کردن داده های ETo ماهانه و سالانه بر اساس محاسبه شاخص‌های میانگین مربعات خطا، میانگین خطای اریب و میانگین خطای مطلق انجام پذیرفت که نتایج محاسبه شاخص‌ها به‌ترتیب در جداول (۵)، (۶) و (۷) موجود می‌باشد. بررسی شاخص ریشه میانگین مربعات خطا (جدول۴) در ماه‌های مختلف نشان داد روش‌های کریجینگ عمومی، کوکریجینگ و وزن‌دهی‌عکس فاصله نسبت‌به سایر روش‌ها در برآورد ETo، خطای کمتری دارند. نتایج این روش‌ها در بیشتر موارد نزدیک به هم به‌دست می‌آید اما بررسی شاخص میانگین‌خطای مطلق (جدول۶) نشان داد در بیشتر ماه‌ها روش کوکریجینگ خطای کمتری نسبت‌به روش‌های دیگر دارد. بررسی شاخص میانگین خطای اریبی(جدول۷) نشان داد روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ و گرادیانی سه‌بعدی نسبت‌به سایر روش‌ها دارای کمترین خطای اریب است. در شکل(۳) توزیع مکانی تبخیروتعرق‌مرجع منطقه‌ای سالانه در استان خوزستان برای نمونه ارائه‌شده است. خطای ماهانه (میلی‌متر برروز) و خطای سالانه (میلی‌متر برسال) است.

جدول۵ : مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا روش‌های مختلف درون‌یابی داده‌های ETo [1]

ماه / روش	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالانه
کریجینگ	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۴۴	**۰/۵۹**	۰/۶۱	۰/۶۳	۰/۶۲	۰/۴۹	۰/۴۳	۰/۲۸	۰/۱۶	۱۳۰/۹
کوکریجینگ	**۰/۱۴**	**۰/۱۸**	**۰/۲۴**	**۰/۴۳**	۰/۶۱	**۰/۶**	**۰/۵۹**	**۰/۵۷**	**۰/۵۷**	۰/۴۲	**۰/۲۷**	**۰/۱۵**	**۱۲۹/۷**
رگرسیون‌کریجینگ	۰/۱۸	۰/۲۶	۰/۳۷	۰/۶۱	۰/۷۷	۰/۸۶	۰/۸۲	۰/۷۹	۰/۶۲	۰/۵۶	۰/۳۹	۰/۲۲	۱۸۵/۷
کریجینگ‌باروندخارجی	۰/۱۵	۰/۲۱	۰/۲۸	۰/۴۷	۰/۶۵	۰/۷۳	۰/۷۴	۰/۷۱	۰/۴۸	۰/۴۲	۰/۲۸	۰/۱۷	۱۵۳/۹
گرادیان‌خطی سه‌بعدی	۰/۲	۰/۳۱	۰/۴۱	۰/۶۲	۰/۸۲	۱/۱	۱/۱۹	۱/۱۳	۰/۸۶	۰/۵۶	۰/۴۱	۰/۲۴	۲۳۰/۴
اسپلاین	۰/۱۹	۰/۳۱	۰/53	۰/۶	۰/۷۷	۰/۷	۰/۶۵	۰/۷	۰/۵۹	۰/۵۳	۰/۴۲	۰/۲۲	۱۵۶/۱
وزن‌دهی‌عکس فاصله	۰/۱۴	۰/۱۸	۰/۲۵	۰/44	۰/۶	۰/۶۲	۰/۶۱	۰/۶	۰/۴۷	**۰/۴۱**	**۰/۲۷**	۰/۱۷	۱۳۱/۷

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

۱. *: مقدار ریشه میانگین مربعات خطای روش منتخب در ماه مورد نظر

جدول ۶ : مقادیر خطای مطلق میانگین روش‌های مختلف درون‌یابی داده‌های ETo[۱]

سالانه	دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اوت	ژوئیه	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	ماه / روش
۹۵/۹	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۳۱	۰/۳۷	۰/۴۶	۰/۴۸	۰/۴۷	۰/۴۴	۰/۳۳	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۱۱	کریجینگ
۹۰/۲	**۰/۱۱**	**۰/۱۹**	۰/۳۱	۰/۳۵	**۰/۴۳**	**۰/۴۴**	**۰/۴۴**	**۰/۴۲**	**۰/۳۱**	**۰/۱۸**	**۰/۱۲**	**۰/۱***	کوکریجینگ
۱۴۲/۲	۰/۱۸	۰/۳۱	۰/۴۴	۰/۴۸	۰/۶۱	۰/۶۳	۰/۶۵	۰/۵۹	۰/۴۸	۰/۳	۰/۲۱	۰/۱۵	رگرسیون‌کریجینگ
۱۱۹/۴	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۳۱	۰/۳۶	۰/۵۷	۰/۶۱	۰/۵۶	۰/۴۸	۰/۳۱	۰/۲۳	۰/۱۷	۰/۱۱	کریجینگ‌باروندخارجی
۱۸۳/۴	۰/۲۱	۰/۳۴	۰/۴۷	۰/۶۵	۰/۸۹	۰/۹۵	۰/۸۷	۰/۶۳	۰/۵۱	۰/۳۴	۰/۲۵	۰/۱۷	گرادیان‌خطی سه‌بعدی
۱۲۲/۱	۰/۱۶	۰/۲۸	۰/۳۹	۰/۴۶	۰/۵۴	۰/۵۲	۰/۵۷	۰/۶۰	۰/۴۸	۰/۲۵	۰/۲۰	۰/۱۵	اسپلاین
۹۰/۳	۰/۱۲	۰/۲	**۰/۲۸**	**۰/۳۲**	۰/۴۳	۰/۴۶	۰/۴۵	۰/۴۳	۰/۳۲	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۱۱	وزن‌دهی‌عکس فاصله

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

جدول ۷ : مقادیر میانگین خطای اریبی روش‌های مختلف درون‌یابی داده‌های ETo[۲]

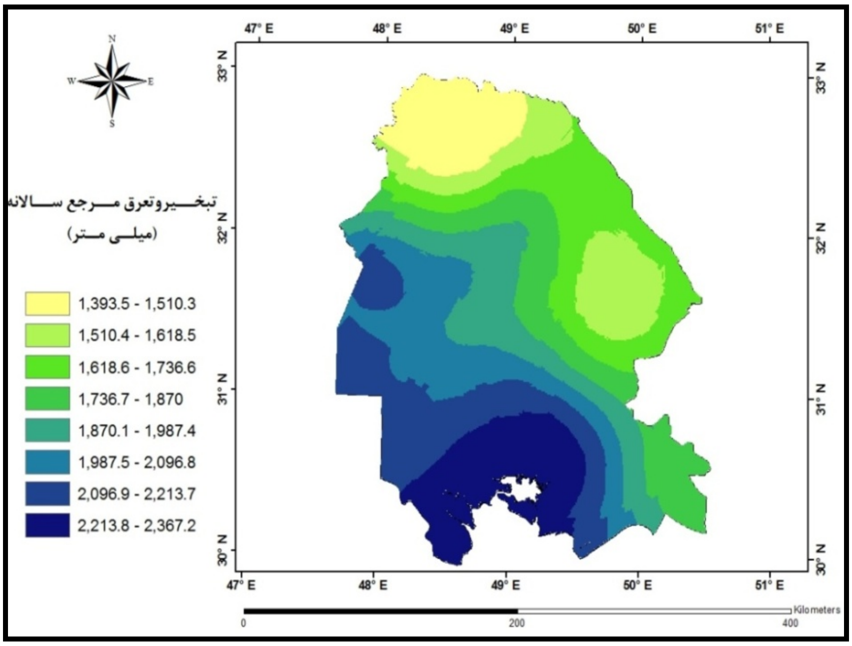
سالانه	دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اوت	ژوئیه	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	ماه / روش
-۶/۷	-۰/۰۰۸	-۰/۰۱	-۰/۰۵	-۰/۰۳	-۰/۰۴	-۰/۰۵	-۰/۰۵	۰/۰	-۰/۰۱	۰/۰	-۰/۰۰۳	-۰/۰۰۵	کریجینگ
-۴/۹	-۰/۰۰۳	-۰/۰۰۶	-۰/۰۲۳	-۰/۰۳	-۰/۰۴	-۰/۰۵	-۰/۰۴	-۰/۰۰۴	-۰/۰۰۶	-۰/۰۰۵	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۱*	کوکریجینگ
-۷/۱	-۰/۰۰۹	-۰/۰۱	-۰/۰۱۹	-۰/۰۳	-۰/۰۴	-۰/۰۴	-۰/۰۴	-۰/۰۳	-۰/۰۲	-۰/۰۱۴	-۰/۰۰۵	-۰/۰۰۳	رگرسیون‌کریجینگ
-۸/۵	-۰/۰۰۸	۰/۰۰۷	۰/۹۰۰	-۰/۰۰۶	-۰/۰۶	-۰/۰۷	-۰/۰۷۷	-۰/۰۲	۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۰۰۱	کریجینگ‌باروندخارجی
-۳/۴	-۰/۰۰۳	-۰/۰۰۸	-۰/۰۰۶	-۰/۰۰۴	-۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۰۱۵	-۰/۰۱	-۰/۰۰۶	-۰/۰۰۵	-۰/۰۰۴	-۰/۰۰۳	گرادیان‌خطی سه‌بعدی
-۷/۹	-۰/۰۱	-۰/۰۴	-۰/۰۵۹	-۰/۰۵۸	-۰/۰۶	-۰/۰۲	-۰/۰۲	۰/۰۰۷	-۰/۰۲	۰/۰۱۳	-۰/۰۱۸	-۰/۰۰۷	اسپلاین
۶/۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۸	۰/۰۵۷	۰/۰۹	۰/۰۹	-۰/۰۵۸	-۰/۰۲	-۰/۰۲	-۰/۰۰۳	-۰/۰۰۳	-۰/۰۰۶	وزن‌دهی‌عکس فاصله

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

---

۱. ※: مقدار میانگین خطای مطلق روش منتخب در ماه مورد نظر

۲. ※: مقدار میانگین خطای اریبی روش منتخب در ماه موردنظر



شکل ۳: توزیع مکانی تبخیروتعرق مرجع منطقه‌ای سالانه در استان خوزستان- روش کوکریجینگ با مدل نیم تغییرنمای گوسی

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۰

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با ارزیابی هفت روش درون‌یابی مختلف مشخص شد بهترین روش مکانی کردن و پهنه‌بندی داده‌هایETo ماهانه و سالانه در استان خوزستان براساس شاخص‌های ریشه میانگین‌مربعات‌خطا و میانگین‌خطای‌مطلق، روش کوکریجینگ با مدل نیم‌تغییرنمای‌گوسی است. در مدل‌نیم‌تغییرنمای‌گوسی کوکریجینگ، نسبت بخش ساختاردار به کل تغییرپذیری در بیشتر ماه‌ها ۱ به‌دست‌آمد که بیانگر ساختار مکانی قوی در تغییرات هم‌زمان متغیرهای ETo و ارتفاع می‌باشد اما باید دقت‌شود کوکریجینگ در بیشتر ماه‌ها دارای خاصیت کم‌برآوردی است. با بررسی نقشه‌های ETo ماهانه و سالانه به‌دست‌آمده معلوم شد در تمامی ماه‌ها، حداقل ETo

در مناطق شمال و شمال غرب استان و حداکثر آن در نواحی جنوبی به‌وقوع پیوسته‌است که علت آن کاهش عرض جغرافیایی از شمال به جنوب بوده است. همچنین کاهش ETo از غرب به شرق منطقه به‌دلیل شرایط توپوگرافی خوزستان بوده‌است که از غرب به شرق ارتفاع از سطح دریا افزایش یافته است و مرتفع‌ترین نقاط منطقه در نیمه شرقی قرار گرفته‌اند. با توجه به نتایج پژوهش حاضر که مشخص شد استفاده از متغییر کمکی در روش‌های درون‌یابی سبب افزایش دقت برآورد می‌گردد، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده از روش‌های ترکیبی درویابی و متغییرهای کمکی بیشتر استفاده گردد.

سپاسگزاری: نگارندگان برخود لازم می‌دانند از سازمان آب و برق‌خوزستان و سازمان هواشناسی کشور به‌دلیل در اختیارقراردادن داده‌های هواشناسی تشکر نمایند.

کتابنامه

۱. حسنی پاک، علی اصغر.(۱۳۷۷). ***زمین آمار(ژئواستاتیستیک)؛*** تهران: دانشگاه تهران.

۲. شهابی‌فر، مهدی.(۱۳۸۳). ***برآورد تبخیروتعرق مرجع منطقه‌ای با استفاده از زمین‌آمار و سیستم-اطلاعات جغرافیایی در استان تهران؛*** پایان‌نامه دکترای تخصصی علوم و مهندسی آبیاری. دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.

۳. کشلولی، حیدرعلی. برومند نسب، سعید و حسینی، یاسر.(۱۳۸۵). ***مقایسه روشهای تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل پنمن، FAO و تورنت وایت در منطقه شمال خوزستان؛*** اولین همایش منطقه‌ای بهره برداری بهینه از منابع آب حوضه های کارون و زاینده رود، دانشگاه شهرکرد.

۴. علیزاده، امین و کمالی، غلامعلی.(۱۳۸۷). ***نیاز آبی گیاهان؛*** مشهد: دانشگاه امام رضا.

۵. نظری فر، محمدهادی؛ سیفی، کیوان و مومنی، رضوانه. (۱۳۸۶). ***ارزیابی روش های زمین آماری و تیسن در برآورد تغییرات منطقه ای تبخیروتعرق پتانسیل- مطالعه موردی استان همدان».*** نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. کرمان: دانشگاه شهید باهنرکرمان.

۶. نوشادی، مسعود و سپاسخواه، علیرضا.(۱۳۸۶). ***«کاربرد زمین آمار برای تخمین تبخیر تعرق بالقوه»***. فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران.۱۴(۲).صص ۳۴۳-۳۵۵.

۷. موسوی بایگی، محمد؛ عرفانیان، مریم و سـرمد، مجیـد.(۱۳۸۸). «***استفاده از حـداقل داده‌هـای هواشناسی برای برآورد تبخیروتعرق گیاه مرجع و ارائه ضرایب اصلاحی(مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)***». مجله آب و خاک. ۲۳(۱).صص ۹۱-۹۹.

۸. مهدیزاده، مهیار.(۱۳۸۱). ***ارزیابی روش های زمین آماری برای برآورد دما و بارندگی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه***؛ پایان نامه کارشناسی ارشد. تهران: دانشگاه تهران

۹. وزارت کشاورزی. (۱۳۷۸). ***آیین نامه مصرف بهینه آب در کشاورزی (سند ملی نیاز آبی)- نیاز آبی،الگوی کشت و راندمان آبیاری، جلد اول دشت های استان خوزستان***. مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی.

10. Boer E.P.J., Beurs K.M.d., & Dewi H.A.(2001). ***Kriging and thin plate splines for mapping climate variables***. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 3(2): 146-154.
11. Gong L., Xu Ch. & Chen, D.(2005) **S*patial interpolation and analyses of reference evapotranspiration and its temporal trends in Changjiang(Yangtze River) Catchment, China***. Geophysical Research Abstracts :7.
12. Ha,W., Gowda P.H., Oommen,T., Marek T.H, Porter D.O., & Howell T.A. (2011)**. *Spatial Interpolation of Daily Reference Evapotranspiration in the Texas High Plains***. Congress of World Environmental and Water Resources :2796-2804.
13. Hengel ,T., Heuvelink B.M.G., & Stein, L.(2003).***Comparison of Kriging with external drift and regression Kriging***. ITC. Technical note: 1-17.
14. Mardikis M.G., Kalivas D.P. & Kollias V.J. (2005).***Comparison of Interpolation Methods for the Prediction of Reference Evapotranspiration-An Application in Greece***. Journal Water Resources Management.19(3): 251-278.
15. Majani B.S.(2007).***Analysis of External Drift Kriging Algorithm with application to precipitation estimation in complex orography***. International Institute For Geo-Information Science And Earth Observation Enschede. The Netherlands:1-91.

16. Martinez-Cob, A.(1996). ***Multivariate geostatistical analysis of evaporation and precipitation in mountainous terrain***. Journal of Hydrology. 174(1–2):19–35.

17. Vanderlinden, K., Giraldez, V., & Meirvenne,M. (2008). ***Spatial Estimation of Reference Evapotranspiration in Andalusia, Spain***. Journal of Hydrometeorology.9 : 242–255.